

Anlage zum Schreiben vom 22.01.2021  
5070-81-3442/3-16-5692/2021

## Validierung des Zwischenberichts „Teilgebiete“ für Thüringen

### 1. Zwischenbericht der Validierung

Das Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz (TLUBN) hat entsprechend der Beauftragung eine erste Durchsicht des Zwischenberichts Teilgebiete der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) vom 28.09.2020 vorgenommen. Die sich daraus ergebenden Anmerkungen finden sich nachfolgend. Sie beziehen sich insbesondere auf Fragen der Anwendung der Kriterien nach §§ 22 und 23 StandAG auf die vom TLUBN an die BGE übermittelten Daten.

Die hier getroffenen Ersteinschätzungen des TLUBN erheben dabei keinesfalls Anspruch auf eine vollständige Prüfung des Zwischenberichts Teilgebiete, da sich das TLUBN in der jetzigen Phase noch im Studium des Berichts und seiner umfangreichen untersetzenden Unterlagen befindet.

### Ausschlusskriterium „aktive Störungszonen – atektonische Vorgänge“

#### Warum werden aktuelle Informationen zu Subrosionssenken bzw. Subrosionserscheinungen nicht stärker berücksichtigt?

Durch Subrosionsprozesse werden auslaugungsfähige Gesteine im Untergrund gelöst. Diese Prozesse können einen endlagerrelevanten Bereich aktiv schädigen und die geologische Barrierefunktion des Wirtsgesteins negativ beeinflussen oder passiv auf den endlagerrelevanten Bereich einwirken, indem sie Zutrittsmöglichkeiten für untersättigte Lösungen schaffen. Subrosion wird daher als atektonischer Vorgang verstanden, der nach § 22 Abs. 2 Nr. 2 S. 3 StandAG wie aktive Störungszonen zum Ausschluss von Gebieten führen kann.

Das TLUBN hat zur Anwendung des Kriteriums Daten aus geologischen Karten, Archivberichten sowie einen Auszug digital erfasster Subrosionsobjekte und Hohlformen in Thüringen mit Stand vom 12.06.2018 übermittelt.

Nach Auswertung der übermittelten Daten und methodischen Anwendung weist die BGE lediglich eine einzige punktuelle Subrosionserscheinung aus 12.228 digital erfassten Subrosionsobjekten und Hohlformen in Thüringen aus (BGE 2020a, S. 59). Die in geologischen Karten und Archivberichten erfassten Subrosionssenken in Südwest-Thüringen werden von der BGE bei der Anwendung der Ausschlusskriterien nicht berücksichtigt.

Der Methodik der BGE zur Auswertung der durch das TLUBN gelieferten Daten ist aus den folgenden Gründen in Frage zu stellen:

1. Ausschließlich Subrosionserscheinungen zu betrachten, deren Ursprung in endlagerrelevanten Tiefen von 300 m bis 1.500 m unter der Geländeoberfläche nachgewiesen sind, führt dazu, dass die Subrosion ausreichend mächtiger und z. T. in endlagerrelevanten Tiefen liegender Steinsalze oberhalb 300 m nicht zum Ausschluss führt. Findet der Zutritt von untersättigten Lösungen aufgrund der Schädigung des Deckgebirges weiterhin statt, können Steinsalze auch in endlagerrelevanten Tiefen bis hin zur vollständigen Ablauung gelöst werden.
2. Flächenhaft auftretende Subrosionserscheinungen sind in Südwest-Thüringen in der Geologischen Übersichtskarte von Thüringen erfasst (TLUG 2002). Insbesondere aufgrund des aktiven Bergbaus, mehrerer schwerer Subrosionsereignisse (z. B. Erdfall Tiefenort) sowie umfangreicher Erfassungsarbeiten in dieser Region liegen fundierte Kenntnisse zum Thema Subrosion vor. Die der BGE zur Verfügung gestellten Informationen aus geologischen Karten und Berichten aus Wissenschaft und Industrie (TLUG 2002; Jungmann & Beer 2004, Anlage 1) sind nicht zum Ausschluss von Flächen aufgrund von Subrosionserscheinungen im „Salzhangbereich“ verwendet worden. Infolgedessen beinhaltet das Teilgebiet 078\_03TG\_197\_03IG\_S\_f\_z großflächige Bereiche, die seit Jahrzehnten als Subrosionssenken bekannt sind (z. B. Oberzella-Subrosionssenke) und die für die Endlagerung von radioaktiven Abfällen nicht geeignet sind (s. Abb. 1).
3. Der Datenbestand der 12.228 digital erfassten Subrosionsobjekte und Hohlformen in Thüringen ist mit Ausnahme eines Objekts von der BGE aussortiert worden, da in den meisten Fällen der Entstehungshorizont und die Entstehungstiefe nicht im Datenbestand dokumentiert ist. Durch den Vergleich mit Informationen aus geologischen Karten kann allerdings mit einfachen räumlichen Abfragen auf den Entstehungshorizont geschlossen werden. So kommen beispielweise in Gebieten mit oberflächlich anstehendem Mittlerem Buntsandstein nur Gesteine des Zechsteins im Untergrund als auslaugungsfähige Gesteine in Betracht, deren Tiefenlage in den Mindestanforderungen durch die BGE bestimmt wurde. Eine Verknüpfung geologischer Informationen aus unterschiedlichen Daten, die zu einem weitreichenderen Ausschluss führen würde, hat durch die BGE nicht stattgefunden.

*Die Ausschlussgebiete nach Anwendung des Kriteriums aktive Störungszonen – atektonische Vorgänge sind nach Einschätzung des TLUBN als zu geringflächig ermittelt worden. Infolgedessen ist das durch die BGE ermittelte Teilgebiet 078\_03TG\_197\_03IG\_S\_f\_z (Steinsalz in stratiformer Lagerung - Werra-Fulda-Becken) deutlich zu groß ausgefallen.*

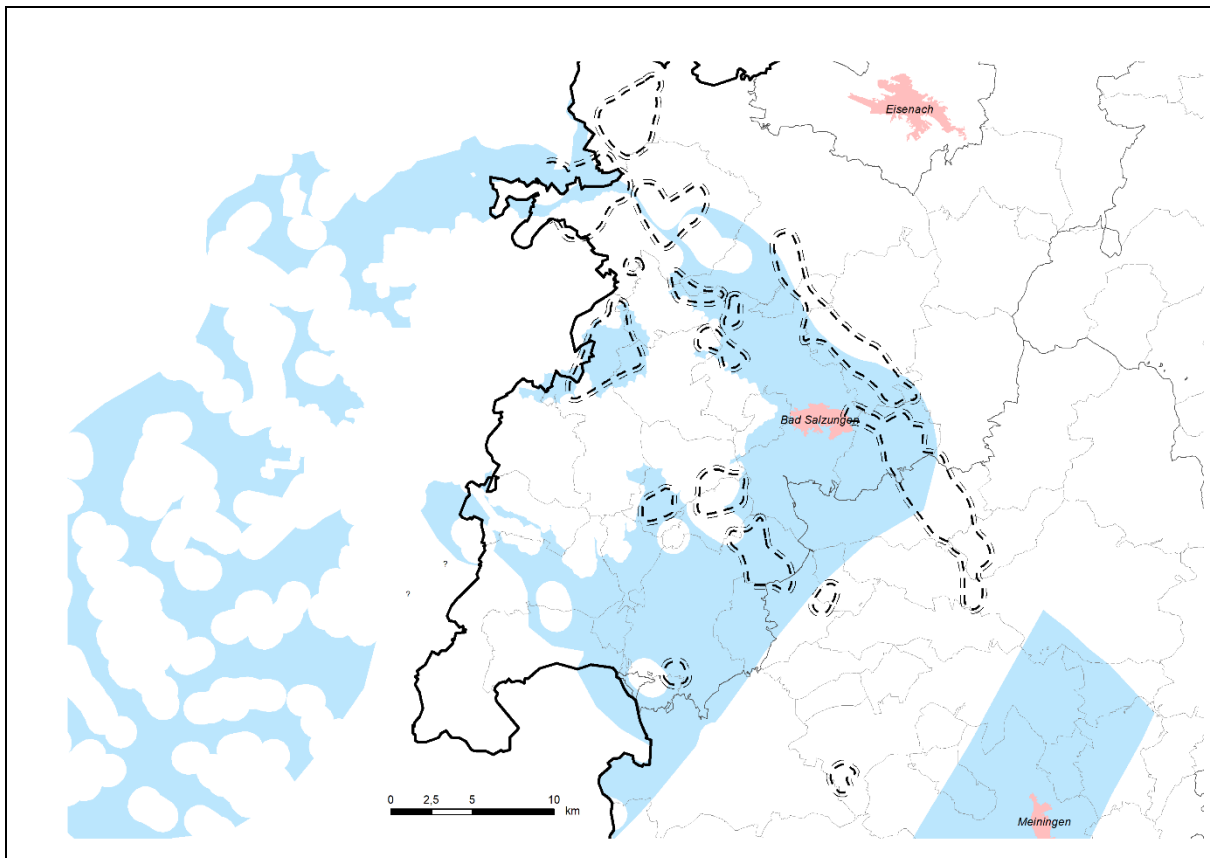


Abb. 1: In der Geologischen Übersichtskarte von Thüringen dargestellte Suberosionssenken (doppelt gestrichelt) im Vergleich zur Lage des Teilgebiets 078\_03TG\_197\_03IG\_S\_f\_z (hellblau) (Erstellung TLUBN).

## Ausschlusskriterium „aktive Störungszonen – tektonische Störungszonen“

### Warum wurde für die vom TLUBN ausgewiesenen aktiven Störungszonen ein senkrechtes Einfallen angenommen?

Gemäß § 22 Absatz 2 Nr. 2 StandAG sind Gebiete nicht als Endlagerstandort geeignet, wenn in den Gebirgsbereichen, die als Endlagerbereich in Betracht kommen, einschließlich eines abdeckenden Sicherheitsabstands, geologisch aktive Störungszonen vorhanden sind, die das Endlagersystem und seine Barrieren beeinträchtigen können.

Nach der Anwendungsmethodik der BGE ergeben sich die hierdurch ausgeschlossenen Gebiete aus einem Sicherheitsabstand von 1000 m um Störungszonen, die als aktiv eingestuft werden. Bei unbekanntem Einfallen wird der Sicherheitsabstand vertikal in die Tiefe projiziert, bei bekanntem Einfallen parallel zur geneigten Störungsfläche.

Für alle vom TLUBN als nachweislich aktiv eingestufte Störungszonen wurde von der BGE ein Sicherheitsabstand von 1000 m vertikal in die Tiefe projiziert (BGE 2020a, S. 55).

Zusätzlich zu den umfangreichen Informationen aus geologischen Kartenwerken zum Verlauf von Störungszonen an der Erdoberfläche hat das TLUBN der BGE am 08.05.2018 auch Informationen zum Tiefenverlauf von 59 Störungsflächen im Untergrund übermittelt, die aus dem Geologischen 3D-Übersichtsmodell des Thüringer Beckens stammen (TLUG 2014). Die Modellflächen geben zumeist den Verlauf von Störungszonen wieder, die als nachweislich aktiv eingestuft worden sind.

Diese wesentlichen Informationen zum Einfallen der Störungszonen sind bei der Anwendung des Ausschlusskriteriums und der Ermittlung ausgeschlossener Gebiete nicht von der BGE berücksichtigt worden.

*Bei korrekter Anwendung ergibt sich für die in Thüringen ausgewiesenen Teilgebiete nach Ansicht des TLUBN eine Verschiebung der Teilbereichsgrenzen an der Grenze zu Ausschlussgebieten aktiver Störungszonen (s. Abb. 2), die in Abhängigkeit von der Tiefe und des Einfallens der Störungszone mehrere Hundert Meter betragen kann.*

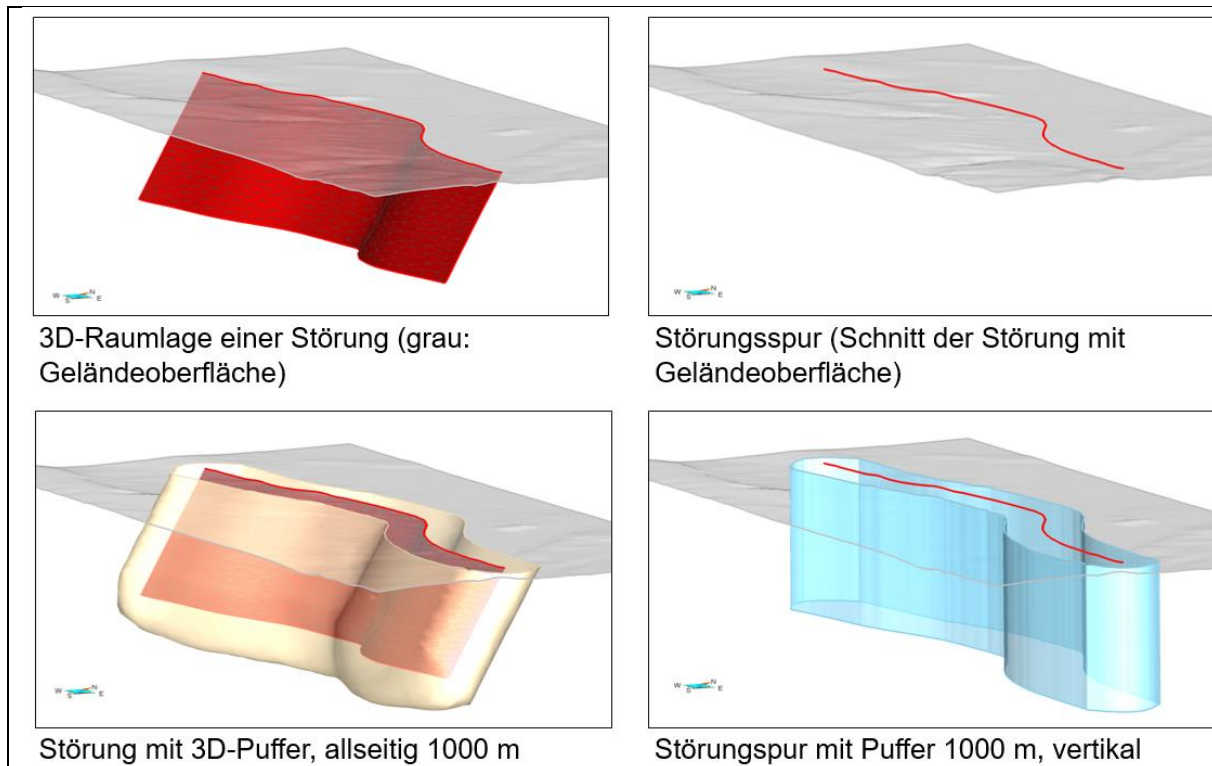


Abb. 2: Bestimmung des Sicherheitsabstandes um aktive Störungszonen unter Berücksichtigung des Tiefenverlaufs der Störung (links) bzw. durch vertikale Projektion der Störungsspur an der Geländeoberfläche (rechts) (Erstellung TLUBN).

## Ausschlusskriterium „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbau-licher Tätigkeit – Bohrungen“

### Warum sind durch Bohrungen ausgeschlossene Gebiete nicht in den Teilgebieten dargestellt?

Bohrungen beeinflussen das sie umgebende Gebirge. Vor allem gebirgsmechanische Eigenschaften werden im unterschiedlichen Maß negativ beeinflusst. Nach der Methodik der BGE wird in der erstmaligen Anwendung dieses Kriteriums um jeden Bohransatzpunkt und Bohrungsverlauf im Untergrund ein Sicherheitsabstand von 25 m zur Ermittlung von Ausschlussflächen angewendet. Der Sicherheitsabstand soll die Lagegenauigkeit und den Einwirkungsbereich der Bohrung auf das umgebende Gebirge berücksichtigen.

Durch das Ausschlusskriterium ermittelte Flächen sind sowohl in den Teilgebietskarten der interaktiven Web-Anwendung der BGE als auch und in den zum Download bereitgestellten Shape-Dateien der ermittelten Teilgebiete nicht berücksichtigt (s. Abb. 3).

Der BGE zufolge können die ermittelten ausgeschlossenen Flächen um Bohrungen aufgrund des gewählten Maßstabbereichs in der interaktiven Web-Anwendung nur überdimensioniert dargestellt werden. Diese Argumentation ist insoweit nachvollziehbar.

Bei den zur Verfügung gestellten Shape-Dateien handelt es sich um maßstabsfreie Vektordaten, so dass die Ausschlussflächen hier von der BGE eingearbeitet werden können.

*Die derzeit ausgewiesenen Flächen der Teilgebiete sind daher nach Anwendung des Ausschlusskriteriums „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit – Bohrungen“ aus Sicht des TLUBN zu groß berechnet.*

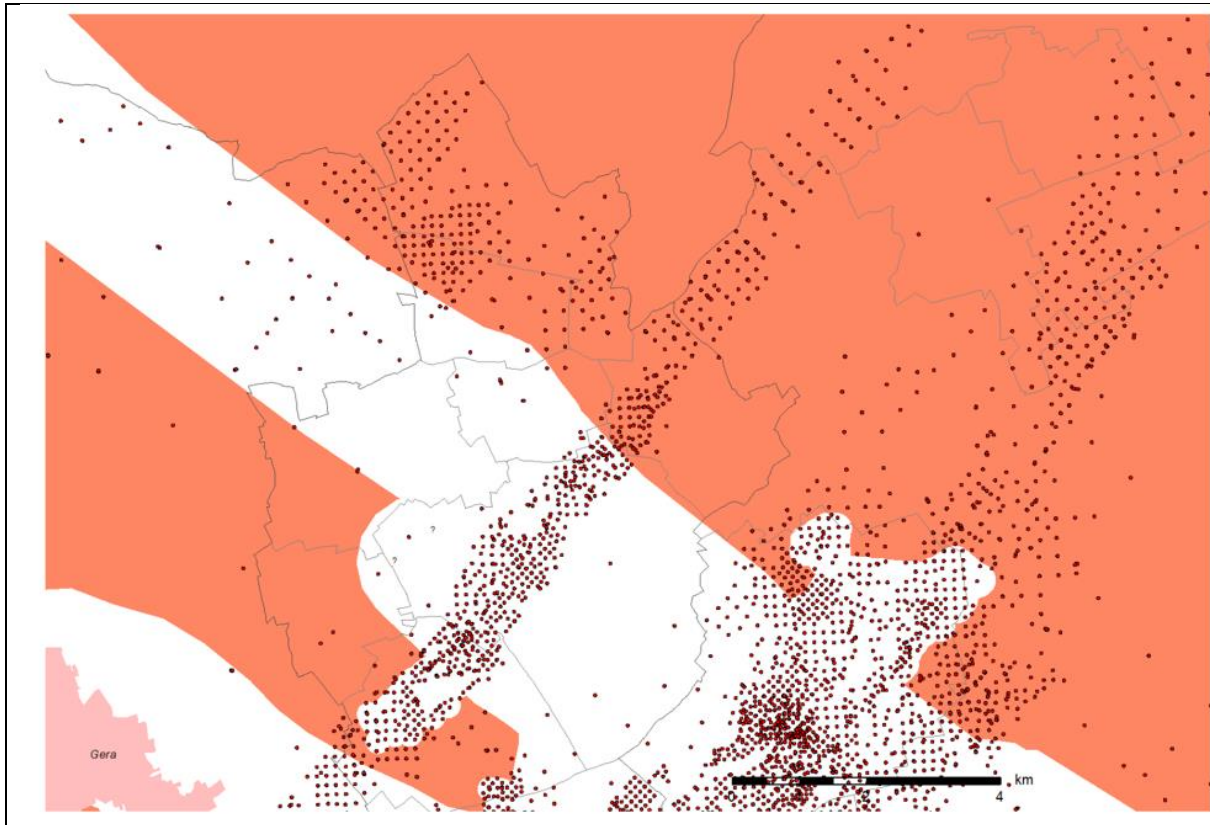


Abb. 3: Ausschnitt des Teilgebietes 009\_00TG\_194\_00IG\_K\_g\_SO (hellrot) im Raum Gera und Lage der an die BGE übermittelten Bohrungen (rot) mit Endteufen  $\geq 300$  m (Erstellung TLUBN).

## Mindestanforderung – „Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG)“

Warum werden in den Teilgebieten mit Steinsalzen in stratiformer Lagerung die Mächtigkeiten einzelner Steinsalzformationen zu einer Gesamtmächtigkeit summiert?

Die BGE nimmt zur Anwendung der Mindestanforderung „Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ das Geologische 3D-Übersichtsmodell des Thüringer Beckens als Grundlage (BGE 2020b, S. 199). In diesem Übersichtsmodell ist die Tiefenlage der Basis- und Topfläche des Zechsteins modelliert worden. Der Zechstein enthält innerhalb der Werra-, Staßfurt-, Leine- und Aller-Formation Steinsalze in stratiformer Lagerung, umfasst jedoch weit aus mehr Gesteine, die nicht als Wirtsgesteine zu betrachten sind.

Zur weiteren Eingrenzung werden von der BGE thematische Karten, z. B. paläogeographische Karten und Mächtigkeitskarten herangezogen, in denen die Verbreitung und/oder Mächtigkeit der Steinsalze dargestellt ist. Im Anschluss dienen Informationen aus Bohrungen überwiegend als Beleg für die Erfüllung der Mindestanforderung (BGE 2020a, S. 102). In einem weiteren Prozess der Eingrenzung werden die einzelnen Mächtigkeiten der Steinsalze der Werra-, Staßfurt-, Leine- und Aller-Formation zu einer Gesamtmächtigkeit summiert (BGE 2020c, S. 194).

Die im Untergrund Thüringens verbreitete Gesteinsabfolge des Zechsteins setzt sich aus sehr unterschiedlichen Gesteinen zusammen (s. Abb. 4).

Steinsalze innerhalb der Werra-, Staßfurt-, Leine- und Aller-Formation des Zechsteins werden von klastischen, karbonatischen und sulfatischen Gesteinen mit Mächtigkeiten getrennt, die jeweils mehrere Zehner Meter mächtig werden können. Diese Gesteine reagieren im Gegensatz zum potentiellen Wirtsgestein Steinsalz auf Spannungsänderungen im Gebirge mit bruchtektonischer Verformung, sind häufig stark geklüftet und können kohlenwasserstoffhaltige Lösungen, Metamorphoselösungen und Formationswässer führen (Herbert & Schwandt 2000, S. 14 ff).

In Thüringen sind innerhalb der Salzgesteine der Werra-Formation in Südthüringen (s. Abb. 5) und im oberen Bereich der Salzgesteine der Staßfurt-Formation in Nordthüringen zudem Kalisalze entwickelt. Diese Abfolgen sind aufgrund ihrer mineralogischen Zusammensetzung für die Endlagerung radioaktiver Abfälle ebenfalls nicht geeignet.

Nach Einschätzung des TLUBN ist daher das Summieren von Mächtigkeiten mehrerer Steinsalzhorizonte innerhalb des Zechsteins zu einer Gesamtmächtigkeit nicht zulässig. Die Mächtigkeiten der ausgebildeten Steinsalze der Werra-, Staßfurt-, Leine- und Aller-Formation müssen einzeln ermittelt werden, da andernfalls wirtsgesteinsfremde Gesteine in die Berechnungen eingehen und die Mächtigkeiten zu stark überschätzt werden.

*Die Teilgebiete mit Steinsalzen in stratiformer Lagerung fallen daher nach Auffassung des TLUBN aufgrund des Summierens von Mächtigkeiten mehrerer Steinsalzformationen des Zechsteins deutlich zu groß aus.*

<b>Zechstein (z)</b>	<p><b>Fulda-Formation (zFu)</b> vorrangig Tonstein mit Lagen von Feinsand Mächtigkeit: bis zu 40 m</p>
	<p><b>Friesland-Formation (zFr)</b> vorrangig Tonstein mit Lagen von Feinsand Mächtigkeit: bis zu 10 m</p>
	<p><b>Ohre-Formation (zO)</b> vorrangig Tonstein mit Lagen von Anhydrit Mächtigkeit: bis zu 5 m</p>
	<p><b>Aller-Formation (zA)</b> vorrangig Tonstein und <b>Steinsalz</b>, wenige Lagen von Anhydrit Mächtigkeit: bis zu 50 m</p>
	<p><b>Leine-Formation (zL)</b> <b>Steinsalz</b>, Karbonat- und Sulfatgestein; untergeordnet Tonstein, Mächtigkeit: bis zu 150 m</p>
	<p><b>Staßfurt-Formation (zS) – endlagerrelevant</b> vorrangig <b>Steinsalz</b>, Mächtigkeit &gt;100 m möglich; untergeordnet Kalisalz, Tonstein, Karbonat- und Sulfatgestein, Gesamtmächtigkeit: bis zu 500 m</p>
	<p><b>Werra-Formation (zW) – endlagerrelevant</b> vorrangig <b>Steinsalz</b>, Mächtigkeit &gt;100 m möglich; untergeordnet Kalisalz, Tonstein, Karbonat- und Sulfatgestein, Gesamtmächtigkeit: bis zu 400 m</p>

Abb. 4: Vereinfachte stratigraphische Gliederung der Zechstein-Gesteine in Thüringen (Erstellung TLUBN).

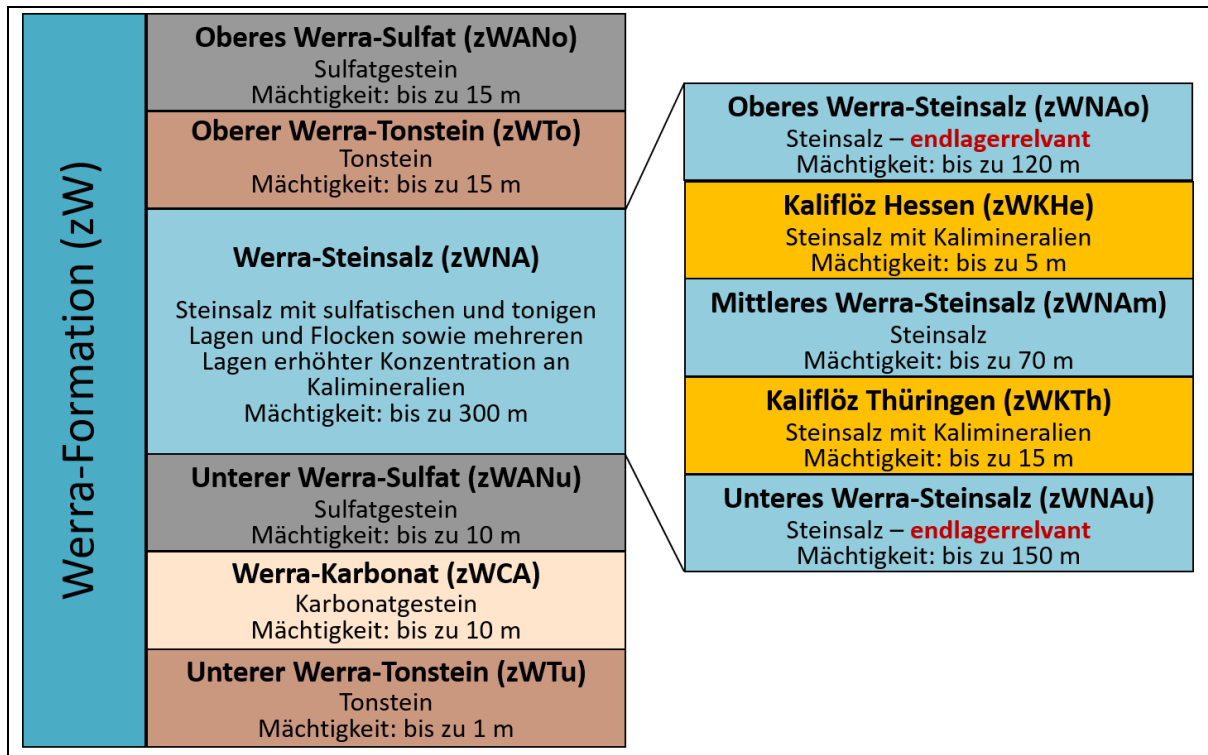


Abb. 5: Vereinfachte stratigraphische Gliederung der Werra-Formation in Südthüringen (Erstellung TLUBN).

## Mindestanforderung – „Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG)“

Warum werden bei der Ermittlung der Teilgebiete mit Steinsalzen in stratiformer Lagerung Bohrungen mit einer (auch summierten) Steinsalzmächtigkeit von weniger als 100 m nicht berücksichtigt?

Die BGE nutzt zur weiteren Eingrenzung von identifizierten Gebieten u. a. Bohrungsdaten, die der BGE am 30.06.2018 durch das TLUBN zur Verfügung gestellt wurden. Anhand der Schichtdaten werden die einzelnen Mächtigkeiten der Steinsalze der Werra-, Staßfurt-, Leine- und Aller-Formation innerhalb des Zechsteins zu einer Gesamtmächtigkeit summiert (dazu s. o.). Bohrungen, die in der Summe weniger als 100 m Steinsalze aufweisen, werden von der BGE zur Eingrenzung der Teilgebiete nicht weiterverwendet (BGE 2020c, S. 195).

Das TLUBN hat der BGE im Zuge der Datenübermittlung vom 30.06.2018 zur Anwendung der Mindestanforderungen und im fachlichen Austausch seine grundsätzliche Auffassung mitgeteilt, dass insbesondere die übermittelten Bohrdaten die „härtesten“ Daten sind, auf deren Grundlage z. B. Mächtigkeitsberechnungen von Wirtsgesteinen erfolgen sollten. Bohrungen, die nach Auswertung der BGE eine (auch summierte) Steinsalzmächtigkeit von weniger als 100 m aufweisen und sich innerhalb der identifizierten Gebiete befinden, müssen daher nach Ansicht des TLUBN zur weiteren Eingrenzung und Anpassung der Teilgebietsgrenzen zwingend herangezogen werden, da es sich hierbei um wichtige Belegpunkte handelt.

*Aufgrund der unvollständigen Nutzung der Bohrdaten fallen die Teilgebiete mit Steinsalzen in stratiformer Lagerung nach Auffassung des TLUBN als deutlich zu groß aus.*

## Mindestanforderung – „Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“

### Warum werden niedriggradige metamorphe Gesteine des Saxothuringikums teilweise zu Kristallingesteinen gerechnet?

Die BGE zählt hochgradig regionalmetamorphe Gesteine und Plutonite zu den kristallinen Wirtsgesteinen, die günstige Eigenschaften für die Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen grundsätzlich erwarten lassen (BGE 2020a, S. 43), und ermittelt ein Teilgebiet für kristallines Wirtsgestein im Saxothuringikum des variszischen Gebirges (009\_00TG\_194\_00IG\_K\_g\_SO). In Thüringen tritt das Saxothuringikum weiträumig im Thüringer Schiefergebirge zu Tage und ist unter jüngerer Bedeckung im Untergrund des östlichen Thüringer Beckens verbreitet. Nordwestlich der Linie Saalfeld - Neustadt an der Orla - Weida wird das in Thüringen unter jüngerer Bedeckung verbreitete Saxothuringikum von der BGE zum Teilgebiet 009\_00TG\_194\_00IG\_K\_g\_SO mit kristallinem Wirtsgestein gerechnet.

Das Saxothuringikum wird in Thüringen überwiegend aus klastischen Sedimentgesteinen und Vulkaniten mit gering metamorpher Überprägung (z. B. Schiefer, Phyllite, Meta-Sandsteine) aufgebaut. Im Thüringer Schiefergebirge sind diese an der Oberfläche anstehenden Gesteine korrekterweise von der BGE nicht zu den kristallinen Wirtsgesteinen gerechnet worden und liegen daher nicht im Teilgebiet 009\_00TG\_194\_00IG\_K\_g\_SO.

Nordwestlich setzt sich das Saxothuringikum in ähnlicher lithologischer Ausbildung unter jüngerer Bedeckung fort. Informationen zur Verbreitung des Saxothuringikums im tieferen Untergrund wurden der BGE, insbesondere mit der Karte „Geologischer Bau des tieferen Untergrundes in Thüringen“ (TLUG 2015) übermittelt (s. Abb. 6), die im Vergleich zu der durch die BGE verwendeten Karte von Reinhold (2005) einen deutlich erhöhten Detailgrad aufweist.

Bohrungsdaten des TLUBN, welche der BGE in der Datenlieferung vom 30.06.2018 übermittelt wurden, belegen, dass das Saxothuringikum nordwestlich des Thüringer Schiefergebirges fast ausschließlich aus gering metamorphen Gesteinen aufgebaut ist.

Im Teilgebiet Saxothuringikum liegen nach Auswertung des TLUBN 153 Bohrungen, in denen Grundgebirge erbohrt wurde. Dabei wurde lediglich in zwei Bohrungen kristallines Wirtsgestein angetroffen (s. Abb. 7).

*Das TLUBN ist daher der Ansicht, dass das Teilgebiet 009\_00TG\_194\_00IG\_K\_g\_SO in seinen Ausmaßen deutlich zu groß ausgefallen ist.*



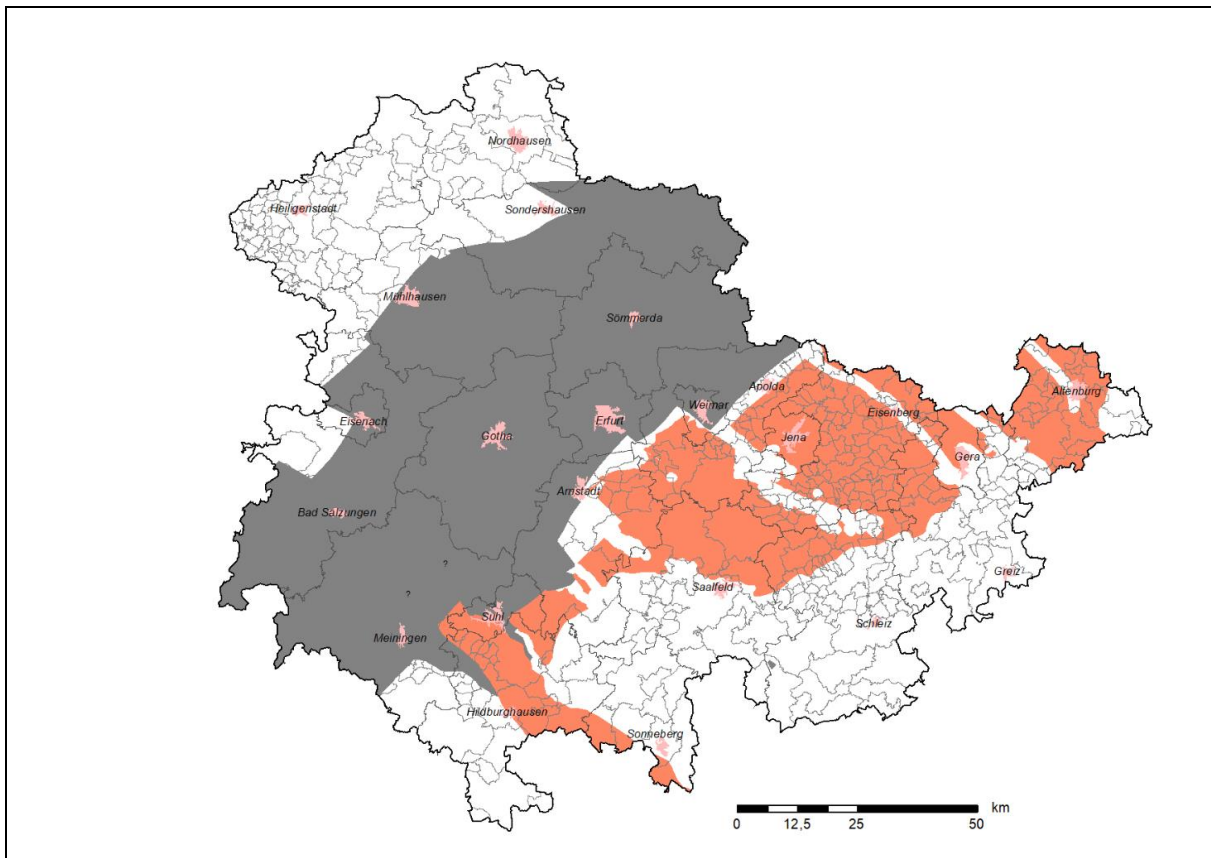


Abb. 6: Teilgebiet 009\_00TG\_194\_00IG\_K\_g\_SO (hellrot) und Verbreitung kristalliner Wirtsgesteine nach der Karte des tieferen Untergrundes in Thüringen (grau) (Erstellung TLUBN).

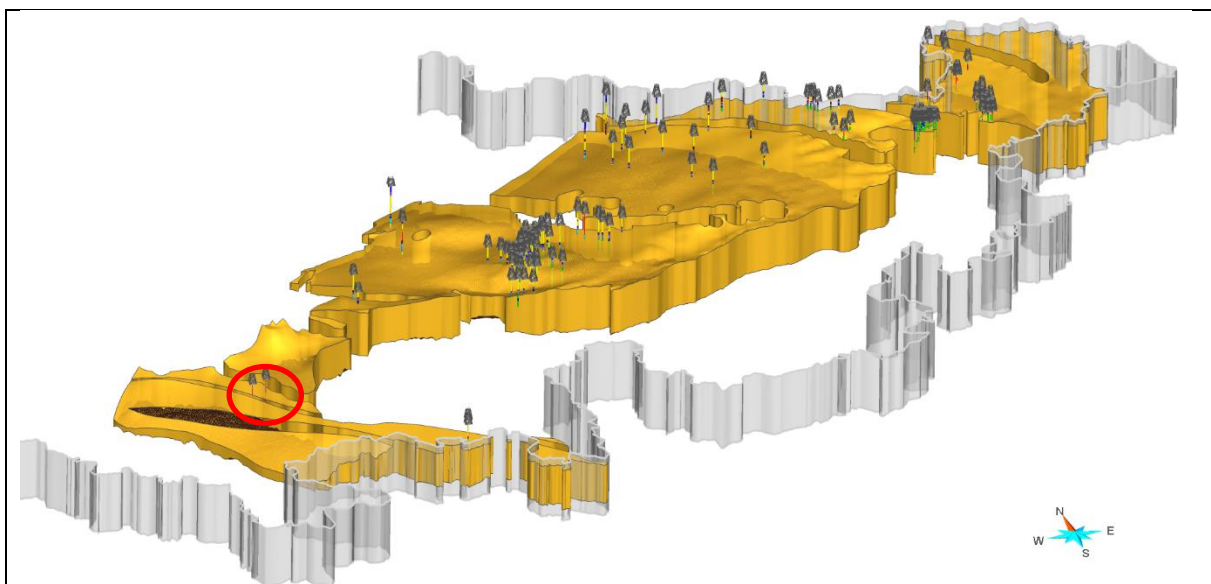


Abb. 7: Dreidimensionale Darstellung des Teilgebiets 009\_00TG\_194\_00IG\_K\_g\_SO mit allen Bohrungen, die das Grundgebirge erreichen. Nur zwei der 153 Bohrungen erbohren geeignetes kristallines Wirtsgestein (rot markiert) (Erstellung TLUBN).

## Literaturzitate

- BGE (2020a): Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
- BGE (2020b): Anwendung Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG – Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
- BGE (2020c): Datenbericht Teil 2 von 4, Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien gemäß § 24 Stand AG – Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
- Herbert, H. J. & Schwandt, A. (2007): Salzlösungszuflüsse im Salzbergbau Mitteldeutschlands. GRS226. Köln: Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH. ISBN 9783939355007
- Jungmann O., & Beer, W. (2004): Neukartierung des Salzhanges im thüringischen Werra-Kaligebiet anhand reflexionsseismischer Tiefenprofile und Tiefenbohrungen. Kassel: K+S Aktiengesellschaft
- Reinhold, K. (2005): Tiefenlage der Kristallin-Oberfläche in Deutschland – Abschlussbericht. F + E Endlagerung. Berlin: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
- Standortauswahlgesetz – StandAG (2017): Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 247 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist
- TLUG (2002): Geologische Übersichtskarte von Thüringen, 1:200.000. Jena: TLUG.
- TLUG (2014): Geologisches 3DModell „Thüringer Becken“ (WMS Dienst). [Online-Ressource]: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie. Zugriff am: 16-12-2020. <http://nibis.lbeg.de/cardoMap3/?th=1411>
- TLUG (2015): Geologischer Bau des tieferen Untergrundes in Thüringen – Geologische Flächeneinheiten. <http://www.tlug-jena.de/kartendienste/>